(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2012-185152
(P2012-185152A)
(43)公開日　平成24年9月27日(2012.9.27)

(51)Int.Cl.			F I			テーマコード（参考）
G01L	1/04	(2006.01)	G01L	1/04		2F051
G01L	5/16	(2006.01)	G01L	5/16		3C707
G01L	1/26	(2006.01)	G01L	1/26	D	
G01L	1/00	(2006.01)	G01L	1/00	F	
B25J	19/02	(2006.01)	B25J	19/02		

審査請求 未請求　請求項の数 7　ＯＬ　（全 22 頁）

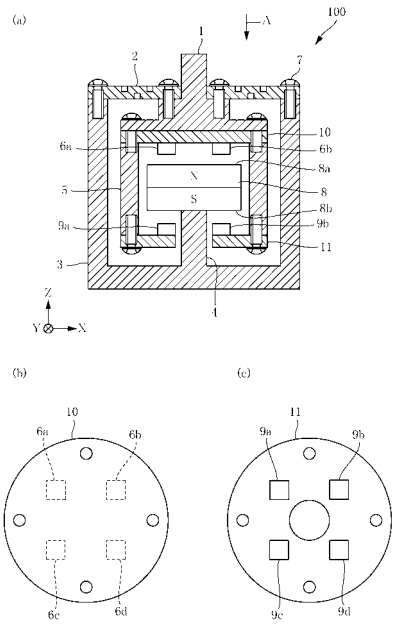
(21)出願番号　特願2012-10787(P2012-10787)
(22)出願日　平成24年1月23日(2012.1.23)
(31)優先権主張番号　特願2011-29738(P2011-29738)
(32)優先日　平成23年2月15日(2011.2.15)
(33)優先権主張国　日本国(JP)

(71)出願人　000001007
キヤノン株式会社
東京都大田区下丸子３丁目３０番２号
(74)代理人　100082337
弁理士　近島　一夫
(74)代理人　100095991
弁理士　阪本　善朗
(74)代理人　100141508
弁理士　大田　隆史
(72)発明者　太田　智市郎
東京都大田区下丸子３丁目３０番２号　キヤノン株式会社内

Ｆターム(参考)　2F051 AA10 AB05 AC04 BA07 DA03 DB03
3C707 DS01 ES03 ET08 KS33 KV08 KW03 KX06 KX08

(54)【発明の名称】力覚センサ、ロボット装置、ロボットハンド及び検出装置

(57)【要約】
【課題】温度センサを用いずに、磁石及び磁電変換素子の特性の変動に追従して、磁電変換素子の出力電圧を補正する。
【解決手段】外枠３に弾性体２を介して作用部１が支持されている。この作用部１に外力が作用することにより作用部１が外枠３に対して変位する。外枠３の内部には、外枠３に一体に固定された永久磁石８が配置されている。この永久磁石８の一方の磁極面８ａに対向するようにｎ個の第１のホール素子６ａ～６ｄが配置されている。また、永久磁石８の他方の磁極面８ｂに対向するようにｎ個の第２のホール素子９ａ～９ｄが配置されている。各ホール素子６ａ～６ｄには、定電流源及び電圧検出部が接続されている。そして、各電圧検出部により検出されたホール電圧の電圧値の絶対値の総和の電圧値が求められ、総和の電圧値が予め定めた基準電圧値となるように、各定電流源の電流値が調整される。
【選択図】図２



【特許請求の範囲】
【請求項１】
センサ本体と、
前記センサ本体に接続される検出装置と、を備え、
前記センサ本体は、
枠体と、
前記枠体に弾性支持され、外力が作用することにより前記枠体に対して変位する作用部と、
前記枠体の内部に配置され、前記枠体に固定された磁石と、
前記磁石の一方の磁極面に対向するように前記作用部に固定され、前記作用部と共に前記一方の磁極面に対して変位可能に配置された第１の磁電変換素子と、
前記磁石の他方の磁極面に対向するように前記作用部に固定され、前記作用部と共に前記他方の磁極面に対して変位可能に配置された第２の磁電変換素子と、を有し、
前記検出装置は、
前記第１の磁電変換素子及び前記第２の磁電変換素子のそれぞれの出力した電圧の電圧値から、前記作用部に作用する力及びモーメントの少なくとも一方を求めるとともに、
前記第１及び第２の磁電変換素子が出力した前記電圧値の絶対値の総和の電圧値を求め、
前記総和の電圧値が予め定めた基準電圧値となるように、前記第１及び第２の磁電変換素子へ供給する電流値を調整することを特徴とする力覚センサ。
【請求項２】
センサ本体と、
前記センサ本体に接続される検出装置と、を備え、
前記センサ本体は、
枠体と、
前記枠体に弾性支持され、外力が作用することにより前記枠体に対して変位する作用部と、
前記枠体の内部に配置され、前記作用部に固定されて前記作用部と一体に変位する磁石と、
前記磁石の一方の磁極面に対向するように前記枠体に固定された第１の磁電変換素子と、
前記磁石の他方の磁極面に対向するように、かつ前記枠体に対して前記第１の磁電変換素子と互いの相対位置を保って固定された第２の磁電変換素子と、を有し、
前記検出装置は、
前記第１の磁電変換素子及び前記第２の磁電変換素子のそれぞれの出力した電圧の電圧値から、前記作用部に作用する力及びモーメントの少なくとも一方を求めるとともに、
前記第１及び第２の磁電変換素子が出力した前記電圧値の絶対値の総和の電圧値を求め、
前記総和の電圧値が予め定めた基準電圧値となるように、前記第１及び第２の磁電変換素子へ供給する電流値を調整することを特徴とする力覚センサ。
【請求項３】
センサ本体と、
前記センサ本体に接続される検出装置と、を備え、
前記センサ本体は、
枠体と、
前記枠体に弾性支持され、外力が作用することにより前記枠体に対して変位する作用部と、
前記枠体の内部に配置され、前記枠体に固定された磁石と、
前記磁石の一方の磁極面に対向するように互いに間隔をあけて前記作用部に固定され、前記作用部と共に前記一方の磁極面に対して変位可能に配置されたｎ個（ｎは２以上の整

数）の第１の磁電変換素子と、
前記磁石の他方の磁極面に対向するように前記作用部に固定され、前記作用部と共に前記他方の磁極面に対して変位可能に配置された１個の第２の磁電変換素子と、を有し、
前記検出装置は、
前記ｎ個の第１の磁電変換素子のそれぞれの出力した電圧の電圧値と、前記第２の磁電変換素子の出力した電圧の電圧値とから、前記作用部に作用する力及びモーメントの少なくとも一方を求めるとともに、
前記各第１の磁電変換素子がそれぞれ出力した電圧値の絶対値と、前記第２の磁電変換素子が出力した電圧値のｎ倍の電圧値の絶対値との総和の電圧値を求め、
前記総和の電圧値が予め定めた基準電圧値となるように、前記第１及び第２の磁電変換素子へ供給する電流値を調整することを特徴とする力覚センサ。
【請求項４】
センサ本体と、
前記センサ本体が接続される検出装置と、を備え、
前記センサ本体は、
枠体と、
前記枠体に弾性支持され、外力が作用することにより前記枠体に対して変位する作用部と、
前記枠体の内部に配置され、前記作用部に固定されて前記作用部と一体に変位する磁石と、
前記磁石の一方の磁極面に対向するように互いに間隔をあけて前記枠体に固定されたｎ個（ｎは２以上の整数）の第１の磁電変換素子と、
前記磁石の他方の磁極面に対向するように、かつ前記枠体に対して前記第１の磁電変換素子と互いの相対位置を保って固定された第２の磁電変換素子と、を有し、
前記検出装置は、
前記ｎ個の第１の磁電変換素子のそれぞれの出力する電圧の電圧値と、前記第２の磁電変換素子の出力する電圧の電圧値とから、前記作用部に作用する力及びモーメントの少なくとも一方を求めるとともに、
前記各第１の磁電変換素子が出力した電圧の電圧値の絶対値と、前記第２の磁電変換素子が出力した電圧の電圧値のｎ倍の電圧値の絶対値との総和の電圧値を求め、
前記総和の電圧値が予め定めた基準電圧値となるように、前記第１及び第２の磁電変換素子へ供給する電流値を調整することを特徴とする力覚センサ。
【請求項５】
多関節のロボットアームと、
請求項１乃至４のいずれか１項に記載の力覚センサと、を備え、
前記センサ本体が前記ロボットアームに設けられている、
ことを特徴とするロボット装置。
【請求項６】
ハンド本体と、
前記ハンド本体に支持されるフィンガーと、
請求項１乃至４のいずれか１項に記載の力覚センサと、を備え、
前記センサ本体が前記フィンガーに設けられている、
ことを特徴とするロボットハンド。
【請求項７】
枠体と、前記枠体に弾性支持され、外力が作用することにより前記枠体に対して変位する作用部と、前記枠体の内部に配置された磁石と、前記磁石の一方の磁極面に対向するように配置された第１の磁電変換素子と、前記磁石の他方の磁極面に対向するように配置された第２の磁電変換素子と、を有するセンサ本体に接続され、前記作用部に作用した力及びモーメントのうちいずれか一方を検出する検出装置において、
前記第１の磁電変換素子及び前記第２の磁電変換素子のそれぞれの出力した電圧の電圧

値から、前記作用部に作用する力及びモーメントの少なくとも一方を求めるとともに、
前記第１及び第２の磁電変換素子が出力した前記電圧値の絶対値の総和の電圧値を求め、
前記総和の電圧値が予め定めた基準電圧値となるように、前記第１及び第２の磁電変換素子へ供給する電流値を調整することを特徴とする検出装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、外力が作用部に作用してホール素子等の磁電変換素子が磁石に対して相対的に変位することにより、磁電変換素子の出力電圧値から作用部に作用した力及びモーメントのうち少なくとも一方を検出する力覚センサに関する。また、多関節のロボットアームの先端とエンドエフェクタとの結合部に、力覚センサのセンサ本体を設け、この力覚センサに検出される力によりロボットアームの姿勢や駆動力を制御することを可能とし、円滑な組立を実現化するロボット装置に関する。

【背景技術】

【０００２】

ロボット装置による自動組立装置によって部品や部材の組立てを行なう場合、その部品がロボット装置のロボットハンドによって精密に位置決めされていなければ、組立て作業を円滑に行なうことができない。例えば、歯車や、ピン等の嵌合組み立て作業においては少しでも軸心がずれていると垂直に差し込むことができず、組立不良が発生していた。

【０００３】

そのような問題を解消するため、ロボット装置のロボットアーム先端とエンドエフェクタとの結合部に、ロボットアームとエンドエフェクタとの間に加わるＸ、Ｙ、Ｚ軸方向の力及びこれら各軸まわりのモーメントを検出するための力覚センサを設けたものがある。この力覚センサに検出される力及びモーメントにより、ロボットアームの姿勢や駆動力を制御することで、円滑な組立実用化が可能になっている。

【０００４】

従来の力覚センサでは、枠体と作用部とを連結する可撓性の梁上に歪ゲージを設け、歪ゲージの抵抗変化から、力及びモーメントを検出するものが主であった。しかし、歪ゲージを用いた力覚センサにおいては、同一梁上に歪ゲージを複数配置した構成となっている。このため、起歪部に力を受けた場合、力が作用した軸方向の歪だけでなく、力が作用していない軸方向にも歪が生じる他軸干渉が発生する。この他軸干渉の影響を少なくするために、他の軸方向の力の影響を受けない梁の構造とすることは原理的に難しい。よって、検出した信号から他軸成分の干渉量を、後段の信号処理等を工夫して影響を差し引くなどの後追い処理をする必要があり、小型化、低コスト化に対して不利であった。

【０００５】

これに対し、作用部の変位を磁気的に検出する力覚センサが提案されている（特許文献１参照）。この力覚センサでは、弾性体に埋め込まれた永久磁石の磁極面に対して対向するように４つのホール素子が配置されている。作用力が加わると永久磁石が変位し、それによって生じた磁束の変化をホール素子等の磁電変換素子によって検出する。これにより、Ｘ軸方向、Ｙ軸方向、Ｚ軸方向の３軸方向の力成分の検出を可能としている。この永久磁石の代わりに、電磁石とすることも可能である。以下、説明の都合上、磁電変換素子を代表してホール素子を挙げて説明を行うことがあるが、必ずしもホール素子のみに限定されるものではない。

【０００６】

永久磁石及び電磁石（以下「磁石」と呼ぶことがある）は、発生させる磁界の強さに関して所定の温度係数を有している。そのため、周囲環境から与えられる環境温度の変動や、ロボット駆動力源であるモータからの発熱の影響、回路基板内の信号処理部による発熱等といった、センサ外部から受ける温度や熱の影響によって磁界の強さは変動する。また、ホール素子やＭＲ素子等の磁電変換素子に関しても、環境温度が変化すると、磁束に比

例する出力電圧（ホール素子ならば、ホール電圧）が変動する。つまり、環境温度が変化すると、磁電変換素子の検出感度が変動する。

【０００７】

これに対して、温度センサを有する温度補償回路によりホール素子に対して温度補正を行う方法が提案されている（特許文献２参照）。これは、ホール素子からの出力電圧が温度上昇により低下した場合、温度センサの負の温度特性により温度上昇に比例してホール素子に供給される電流が高められる。この高められた電流がホール素子に出力されることで、温度上昇により低下していたホール素子の出力電圧が回復することになる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００８】

【特許文献１】特開２００４－３２５３２８号公報

【特許文献２】特開２００５－３２１５９２号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００９】

温度補償回路を用いて磁電変換素子に対する温度補正を行う場合、環境温度の変化で磁電変換素子の特性のみならず、磁石の磁束も変動するので、磁石近傍にも温度センサを設け、検知磁束である出力電圧の変動を補正する必要がある。

【００１０】

しかし、磁石と温度センサの熱容量の違いや、局部的な温度上昇の発生時には温度センサと磁石との位置関係の違いにより、温度センサを用いて磁石の平均温度を正確に測定することは困難である。また、磁石及び磁電変換素子に温度特性補正専用の温度センサを設ける必要があり、回路が複雑化する。

【００１１】

そこで、本発明は、温度センサを用いずに、環境温度の変化に伴う磁石及びホール素子等の磁電変換素子の特性の変動に追従して、磁電変換素子の出力電圧を補正することを目的とするものである。

【課題を解決するための手段】

【００１２】

本発明の力覚センサは、センサ本体と、前記センサ本体に接続される検出装置と、を備え、前記センサ本体は、枠体と、前記枠体に弾性支持され、外力が作用することにより前記枠体に対して変位する作用部と、前記枠体の内部に配置され、前記枠体に固定された磁石と、前記磁石の一方の磁極面に対向するように前記作用部に固定され、前記作用部と共に前記一方の磁極面に対して変位可能に配置された第１の磁電変換素子と、前記磁石の他方の磁極面に対向するように前記作用部に固定され、前記作用部と共に前記他方の磁極面に対して変位可能に配置された第２の磁電変換素子と、を有し、前記検出装置は、前記第１の磁電変換素子及び前記第２の磁電変換素子のそれぞれの出力した電圧の電圧値から、前記作用部に作用する力及びモーメントの少なくとも一方を求めるとともに、前記第１及び第２の磁電変換素子が出力した前記電圧値の絶対値の総和の電圧値を求め、前記総和の電圧値が予め定めた基準電圧値となるように、前記第１及び第２の磁電変換素子へ供給する電流値を調整することを特徴とする。

【発明の効果】

【００１３】

本発明によれば、第１の磁電変換素子が磁石の一方の磁極面に対向して配置され、第２の磁電変換素子が磁石の他方の磁極面に対向して配置されているとともに、第１及び第２の磁電変換素子の相対位置が固定されている。このように配置された磁電変換素子の全てにより検知される総磁束を示す出力電圧値の総和の電圧値は、磁石に対する第１の磁電変換素子及び第２の磁電変換素子の相対的な変位では変動せず、磁石及び磁電変換素子の特性が変動した場合に変動する。そして、この総和の電圧値が基準電圧値となるように、各

磁電変換素子に供給する電流の電流値が調整されるので、総和の電圧値が一定に保たれる。したがって、磁石の磁束及び各磁電変換素子の検出感度が温度変化や経年変化等により変動しても、各磁電変換素子により出力される電圧は温度変化や経年変化等に依存しない安定したものとなる。このように、温度変化や経年変化等により磁石及び磁電変換素子の両方の特性が変動したとしても、温度センサを用いない簡易な構成で、磁電変換素子の出力電圧を補正することができる。

【図面の簡単な説明】

【００１４】

【図１】本発明の第１実施形態に係る力覚センサを組み込んだロボット装置の概略構成を示す模式図である。

【図２】力覚センサのセンサ本体の概略構成を示す模式図であり、（ａ）はセンサ本体のＸ－Ｚ軸に沿った断面模式図である。（ｂ）は図２（ａ）の矢印Ａ方向から見た第１のセンサ基板の平面図、（ｃ）は図２（ａ）の矢印Ａ方向から見た第２のセンサ基板の平面図である。

【図３】力覚センサのセンサ本体において外枠の内部に配置された部材の斜視図である。

【図４】力覚センサのセンサ本体の断面模式図であり、（ａ）は作用部にＸ軸方向に力Ｆｘを受けた場合、（ｂ）はＺ軸方向に力Ｆｚを受けた場合、（ｃ）はＹ軸まわりにモーメントＭｙを受けた場合を示している。

【図５】本発明の第１実施形態に係る力覚センサの検出装置の回路部を示す電気回路図である。

【図６】永久磁石の温度変化により永久磁石の特性が変動した場合の回路部の補正動作を説明するための図であり、（ａ）は永久磁石の磁束密度の変化に対する総和の電圧値の変化を示す図である。（ｂ）は総和の電圧値と基準電圧値との差分により補正される定電流源の電流を示す図である。

【図７】ホール素子の温度変化によりホール素子の感度係数が変動した場合の回路部の補正動作を説明するための図であり、（ａ）は磁束密度に対する総和の電圧値の変化を示す図である。（ｂ）は総和の電圧値と基準電圧値との差分により補正される定電流源の電流を示す図である。

【図８】本発明の第２実施形態に係る力覚センサのセンサ本体を示す断面模式図である。

【図９】本発明の第３実施形態に係る力覚センサを組み込んだロボット装置の概略構成を示す模式図である。

【図１０】本発明の第３実施形態に係る力覚センサのセンサ本体を示す断面模式図である。

【図１１】本発明の第３実施形態に係る力覚センサの検出装置の回路部を示す電気回路図である。

【図１２】本発明の第４実施形態に係る力覚センサのセンサ本体を示す断面模式図である。

【図１３】本発明の第５実施形態に係る力覚センサを組み込んだロボットハンドを有するロボット装置の概略構成を示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【００１５】

以下、本発明を実施するための形態を、図面を参照しながら詳細に説明する。

【００１６】

［第１実施形態］

以下の説明では、磁電変換素子を代表してホール素子を挙げて説明するが、ホール素子以外にＭＲ素子など他の磁電変換素子を用いてももちろん良い。図１は、本発明の第１実施形態に係る力覚センサを組み込んだロボット装置の概略構成を示す模式図である。図１に示すロボット装置９００は、多関節（本第１実施形態では、６つの関節Ｊ１～Ｊ６）のロボットアーム６００と、ロボットアーム６００の先端に設けられたエンドエフェクタとしてのロボットハンド８００と、を備えている。また、ロボット装置９００は、力覚セン

サ５００と、ロボットアーム６００及びロボットハンド８００の動作を制御するロボットコントローラ７００と、を備えている。力覚センサ５００は、センサ本体１００と、センサ本体１００に接続される検出装置４００とを有している。センサ本体１００は、ロボットアーム６００の先端とロボットハンド８００との間に介在して配置されている。つまり、ロボットアーム６００の先端には、センサ本体１００が直接設けられている。そして、ロボットアーム６００の先端には、ロボットハンド８００がこのセンサ本体１００を介して設けられている。

【００１７】

センサ本体１００は、図２（ａ）に示すように、上端が開放した略箱形状の剛体で形成された枠体としての外枠３と、外枠３の上端の開口を囲うように外枠３にねじ等の固定具７で固定された弾性変形する板状の弾性体２とを備えている。また、センサ本体１００は、弾性体２に固定されて外枠３に弾性体２を介して弾性支持された作用部１を備えている。作用部１は、弾性体２の貫通孔を通じて外枠３の内部と外部とに跨って配置されている。そして、作用部１は、作用部１の外枠３の外部に突出した部分に外力が作用することにより、外枠３に対して、互いに直交する３軸（Ｘ軸、Ｙ軸、Ｚ軸）の軸方向に変位すると共に各軸まわりに変位する。つまり、作用部１は、外枠３に対して６自由度を有している。なお、作用部１は弾性体２と一体に形成されていてもよい。

【００１８】

また、センサ本体１００は、図２（ａ）及び図３に示すように、外枠３の内部に配置された磁石としての永久磁石８を備えている。そして、外枠３の内部であって、外枠３の底部には、永久磁石８を固定するための支柱４が、外枠３と一体に設けられている。そして、永久磁石８は、この支柱４に固定されて、外枠３に一体に固定されている。永久磁石８はＮｄ－Ｆｅ－Ｂ磁石、Ｓｍ－Ｃｏ磁石、Ｓｍ－Ｆｅ－Ｎ磁石、フェライト磁石に代表されるような磁石である。なお、磁石を永久磁石８としたが、磁性体まわりにコイルを巻き、通電することによって磁力を発生させる電磁石であってもよい。

【００１９】

センサ本体１００は、作用部１に固定され、永久磁石８の一方の磁極面８ａに対して間隔をあけて対向して配置された第１のセンサ基板１０を備えている。また、センサ本体１００は、作用部１に基板連結部材５を介して固定され、永久磁石８の他方の磁極面８ｂに対して間隔をあけて対向して配置された第２のセンサ基板１１を備えている。センサ本体１００は、ｎ個（ｎは２以上の整数、本実施形態ではｎ＝４）の磁電変換素子としてホール素子６ａ，６ｂ，６ｃ，６ｄ（図２（ｂ）参照）を備えている。ホール素子６ａ，６ｂ，６ｃ，６ｄは、第１のセンサ基板１０に固定され、永久磁石８の一方の磁極面８ａに間隔をあけて対向し、互いに間隔をあけて配置されている。また、センサ本体１００は、第２のセンサ基板１１に固定され、永久磁石８の他方の磁極面８ｂに間隔をあけて対向し、互いに間隔をあけて配置されたｎ個（本実施形態ではｎ＝４）の第２のホール素子９ａ，９ｂ，９ｃ，９ｄ（図２（ｃ）参照）を備えている。つまり第１及び第２のホール素子は永久磁石８に対して変位可能に作用部１に配置されている。互いに直交する３軸の各軸方向の力成分と各軸のまわりのモーメント成分とを求めるには、４個の第１のホール素子６ａ～６ｄ及び４個の第２のホール素子９ａ～９ｄとするのが好ましい。磁電変換素子の個数は、検出したい力及びモーメントの種類に応じて、適宜決めて良い。

【００２０】

各第１のホール素子６ａ，６ｂ，６ｃ，６ｄは、同一の円周上に等間隔で配置されており、また、各第２のホール素子９ａ，９ｂ，９ｃ，９ｄは、同一の円周上に等間隔で配置されている。そして、第１のホール素子６ａ，６ｂ，６ｃ，６ｄと第２のホール素子９ａ，９ｂ，９ｃ，９ｄとは、永久磁石８を中心とする対称面に対して対称配置されている。

【００２１】

このように各ホール素子６ａ～６ｄ，９ａ～９ｄを配置したことにより、作用部１が外枠３に対して変位すると、各第１のホール素子６ａ～６ｄが永久磁石８の一方の磁極面８ａに対して変位する。また、各第２のホール素子９ａ～９ｄが永久磁石８の他方の磁極面

８ｂに対して変位する。つまり作用部１に外部から力が加わると、各第１のホール素子６ａ～６ｄと各第２のホール素子９ａ～９ｄとが基板連結部材５を介して相対的な位置を保ちながら永久磁石８に対して変位する。

【００２２】

各ホール素子６ａ～６ｄ，９ａ～９ｄは、当該ホール素子に供給された電流、及び当該ホール素子を交差した磁束に比例した値のホール電圧（出力電圧）を出力する。各ホール素子６ａ～６ｄ，９ａ～９ｄは、同一規格のものを使用しており、特性が互いに略同一である。

【００２３】

以上の構成により、本実施の形態のセンサ本体１００を用いることで、作用部１に作用する、互いに直交する３軸の各軸方向の力成分と各軸のまわりのモーメント成分とを求めることができる。以下、各力成分と各モーメント成分の算出方法について、図４を参照しながら説明する。図４は、センサ本体１００の断面模式図であり、図４（ａ）は作用部１にＸ軸方向に力Ｆｘを受けた場合、図４（ｂ）はＺ軸方向に力Ｆｚを受けた場合、図４（ｃ）はＹ軸まわりにモーメントＭｙを受けた場合を示している。

【００２４】

図４（ａ）に示すように、Ｘ軸方向の力Ｆｘによってホール素子６ａに磁束密度変位量－ΔＢｘが生じたとすると、ホール素子６ｂ、９ａ、９ｂにはそれぞれ磁束密度の変位量がΔＢｘ、－ΔＢｘ、ΔＢｘ生じることになる。

【００２５】

また、図４（ｂ）に示すように、Ｚ軸方向の力Ｆｚによってホール素子６ａに磁束密度変位量－ΔＢｚが生じたとすると、ホール素子６ｂ、９ａ、９ｂにはそれぞれ磁束密度の変位量が－ΔＢｚ、ΔＢｚ、ΔＢｚ生じることになる。

【００２６】

さらに、図４（ｃ）に示すように、Ｙ軸方向のモーメントＭｙによってホール素子６ａに磁束密度変位量ΔＢｙが生じたとすると、ホール素子６ｂ、９ａ、９ｂにはそれぞれ磁束密度の変位量が－ΔＢｙ、－ΔＢｙ、ΔＢｙ生じることになる。

【００２７】

ホール素子６ａに生じる磁束密度変位総量ΔＢ６ａ、ホール素子６ｂに生じる磁束密度変位総量ΔＢ６ｂ、ホール素子９ａに生じる磁束密度変位総量ΔＢ９ａ、ホール素子９ｂに生じる磁束密度変位総量ΔＢ９ｂとする。

【００２８】

各磁束密度変位総量は、以下の式となる。

ΔＢ６ａ＝－ΔＢｘ－ΔＢｚ＋ΔＢｙ

ΔＢ６ｂ＝ΔＢｘ－ΔＢｚ－ΔＢｙ

ΔＢ９ａ＝－ΔＢｘ＋ΔＢｚ－ΔＢｙ

ΔＢ９ｂ＝ΔＢｘ＋ΔＢｚ＋ΔＢｙ

【００２９】

次に、各々の軸において相対関係にあるホール素子のペアを作り、差分をとる。ここで、ｋｘ、ｋｚ、ｋｙは磁束密度変位量から力、モーメントに算出するための比例係数である。

$$
\begin{aligned}
&Fx\\
&=(\Delta B6b+\Delta B9b)-(\Delta B6a+\Delta B9a)\\
&=kx\times\Delta Bx\\
&Fz\\
&=(\Delta B9a+\Delta B9b)-(\Delta B6a+\Delta B6b)\\
&=kz\times\Delta Bz\\
&My\\
&=(\Delta B6a+\Delta B9b)-(\Delta B9a+\Delta B6b)\\
&=ky\times\Delta By
\end{aligned}
$$

【００３０】
同様にして、Ｙ軸方向の力Ｆｙ、Ｘ軸方向のモーメントＭｘ、Ｚ軸方向のモーメントＭｚも算出できる。以上のようにして、各軸に独立に力を加えた際に生じる磁束密度変位量の項だけになるので、各軸方向に生じた力成分、及び各軸まわりに生じたモーメント成分を容易に算出できる。本実施の形態では、ホール素子６ａ～６ｄ，９ａ～９ｄを用いているので、各ホール素子のホール電圧に基づいて力Ｆｘ，Ｆｙ，Ｆｚ及びモーメントＭｘ，Ｍｙ，Ｍｚを求めることができる。
【００３１】
センサ本体１００の作用部１及び外枠３のうち一方、本第１実施形態では外枠３は、ロボットアーム６００の先端に固定され、他方、本第１実施形態では作用部１は、ロボットハンド８００に固定される。なお、外枠３がロボットハンド８００に固定され、作用部１がロボットアーム６００の先端に固定されてもよい。図１に示す検出装置４００は、センサ本体１００の各ホール素子６ａ～６ｄ，９ａ～９ｄからのホール電圧を検出して出力する回路部２００と、作用部１に作用する力及びモーメントを求める処理部３００とを備えている。処理部３００は、その各力成分出力をロボットコントローラ７００に伝達する。ロボットコントローラ７００は、各力成分に基づいてロボットアーム６００の姿勢を制御する。
【００３２】
図５に力覚センサ５００の回路部２００の電気回路図を示す。図５に示すように、回路部２００は、４個の第１のホール素子６ａ～６ｄのそれぞれに接続され、各ホール素子６ａ～６ｄに設定電流値の電流を供給する、ホール素子６ａ～６ｄの個数に対応する個数（つまり４個）の第１の定電流源ＣＣ１～ＣＣ４を備えている。また、回路部２００は、４個の第２のホール素子９ａ～９ｄのそれぞれに接続され、各ホール素子９ａ～９ｄに設定電流値の電流を供給する、ホール素子９ａ～９ｄの個数に対応する個数（つまり４個）の第２の定電流源ＣＣ５～ＣＣ８を備えている。
【００３３】
また、回路部２００は、４個の第１のホール素子６ａ～６ｄのそれぞれに接続され、各ホール素子６ａ～６ｄのホール電圧の電圧値を検出する、ホール素子６ａ～６ｄの個数に対応する個数（つまり４個）の第１の電圧検出部ＡＭＰ１～ＡＭＰ４を備えている。また、回路部２００は、４個の第２のホール素子９ａ～９ｄのそれぞれに接続され、各ホール素子９ａ～９ｄのホール電圧の電圧値を検出する、ホール素子９ａ～９ｄの個数に対応する個数（つまり４個）の第２の電圧検出部ＡＭＰ５～ＡＭＰ８を備えている。
【００３４】
なお、定電流源ＣＣ１～ＣＣ８は、各ホール素子６ａ～６ｄ，９ａ～９ｄに対応して設けられるので、ホール素子６ａ～６ｄ，９ａ～９ｄと同じ数の８個である。同様に、電圧検出部ＡＭＰ１～ＡＭＰ８は、各ホール素子６ａ～６ｄ，９ａ～９ｄに対応して設けられるので、ホール素子６ａ～６ｄ，９ａ～９ｄと同じ数の８個である。
【００３５】
定電流源ＣＣ１～ＣＣ８は、ホール素子６ａ～６ｄ，９ａ～９ｄに設定された設定電流値となる一定の電流を供給するように動作する。本実施の形態では、定電流源ＣＣ１～ＣＣ８は、互いに同一の電流値の電流をホール素子に供給するように構成されている。
【００３６】
電圧検出部ＡＭＰ１～ＡＭＰ８は、差動増幅器であり、検出したホール素子６ａ～６ｄ，９ａ～９ｄのホール電圧を増幅して、ホール電圧の電圧値に比例した大きさの電圧信号を出力端子ＯＵＴ１Ａ～ＯＵＴ２Ｄから次段の図１に示す処理部３００に出力する。
【００３７】
処理部３００は、各電圧検出部ＡＭＰ１～ＡＭＰ８により検出されたホール電圧の電圧値から上述したような演算を行い、作用部１に作用する、互いに直交する３軸の各軸方向の力成分と各軸のまわりのモーメント成分とを求める。
【００３８】

以上、外力によって生じるホール素子６ａ～６ｄ，９ａ～９ｄのホール電圧から、演算により力及びモーメントを求めたが、一般的に永久磁石８は温度によって発生磁束が変化する。具体的には、永久磁石８は、温度上昇に伴って磁束が低下する負の温度特性を持っている。

【００３９】

本実施の形態では、回路部２００は、総和演算部を構成する第１の加算器ＡＤＤ１、第２の加算器ＡＤＤ２及び差動増幅器ＤＩＦ－ＡＭＰと、調整部としての差動増幅器ＥＲＲ－ＡＭＰとを備えている。第１の加算器ＡＤＤ１は、各第１の電圧検出部ＡＭＰ１～ＡＭＰ４から出力された電圧信号を加算し、第２の加算器ＡＤＤ２は、各第２の電圧検出部ＡＭＰ５～ＡＭＰ８から出力された電圧信号を加算する。

【００４０】

ここで、本実施の形態では、各ホール素子６ａ～６ｄ，９ａ～９ｄの一方の表面を永久磁石８に対向するように配置しており、第１のホール素子６ａ～６ｄのホール電圧と、第２のホール素子９ａ～９ｄのホール電圧との正負の極性が異なる。具体的には、第１のホール素子６ａ～６ｄのホール電圧は正の値であり、第２のホール素子９ａ～９ｄのホール電圧は負の値である。したがって、差動増幅器ＤＩＦ－ＡＭＰは、第１の加算器ＡＤＤ１の出力結果から第２の加算器ＡＤＤ２の出力結果を減算することで、各電圧検出部ＡＭＰ１～ＡＭＰ８により検出されたホール電圧の電圧値の絶対値の総和の電圧値Ｖｓを求めている。

【００４１】

なお、第２のホール素子９ａ～９ｄの他方の面を永久磁石８に対向させて配置すれば、各第２のホール素子９ａ～９ｄのホール電圧は正の値となるので、総和演算部として、差動増幅器ＤＩＦ－ＡＭＰの代わりに加算器とすることができる。あるいは、総和演算部として、加算器ＡＤＤ１，ＡＤＤ２及び差動増幅器ＤＩＦ－ＡＭＰの代わりに、全ての電圧検出部ＡＭＰ１～ＡＭＰ８の電圧信号を入力して加算する加算器とすることができる。

【００４２】

以上の加算器ＡＤＤ１，ＡＤＤ２及び差動増幅器ＤＩＦ－ＡＭＰの動作により、各ホール電圧の電圧値の絶対値の総和の電圧値Ｖｓが求められる。この電圧値Ｖｓは、第１のホール素子６ａ～６ｄと第２のホール素子９ａ～９ｄにて検出された磁束の総和を示す値である。そして、電圧値Ｖｓは、永久磁石８に対する第１のホール素子６ａ～６ｄ及び第２のホール素子９ａ～９ｄの相対的な変位では変動せず、永久磁石８及びホール素子６ａ～６ｄ，９ａ～９ｄの特性が変動した場合に変動する。

【００４３】

例えば、作用部１にＸ軸方向の力Ｆｘが作用して各ホール素子６ａ～６ｄ，９ａ～９ｄがＸ軸方向に変位した場合、ホール素子６ａ，６ｃ，９ａ，９ｃを交差する磁束が増加し、ホール電圧が増加する。これに対し、ホール素子６ｂ，６ｄ，９ｂ，９ｄを交差する磁束が減少し、ホール電圧は上記の増加量と同じ量だけ減少する。そのため、全ホール素子６ａ～６ｄ，９ａ～９ｄの総和の電圧値Ｖｓは変動しない。そして、永久磁石８が温度上昇して永久磁石８にて発生する磁束が低下した場合、各ホール素子６ａ～６ｄ，９ａ～９ｄにて出力されるホール電圧の電圧値が低下し、総和の電圧値Ｖｓも低下することとなる。

【００４４】

そこで差動増幅器ＥＲＲ－ＡＭＰは、入力した総和の電圧値Ｖｓと予め定めた基準電圧値ＲＥＦ－Ｖとの差分に基づき、総和の電圧値Ｖｓを基準電圧値ＲＥＦ－Ｖにするための設定電流値を示す電流指令信号（Ｉ．ＦＢ信号）を各定電流源ＣＣ１～ＣＣ８に出力する。

【００４５】

基準電圧値ＲＥＦ－Ｖは、一定の値であり、総和の電圧値Ｖｓが一定の電圧値に保持されることで、各ホール素子６ａ～６ｄ，９ａ～９ｄは、永久磁石８の磁束変動がなかったときと同じホール電圧を出力することとなる。

【００４６】
各定電流源ＣＣ１～ＣＣ８は、入力したＩ．ＦＢ信号に対応する設定電流値の電流をそれぞれのホール素子６ａ～６ｄ，９ａ～９ｄに供給する。各定電流源ＣＣ１～ＣＣ８に出力されるＩ．ＦＢ信号は同一値であり、各ホール素子６ａ～６ｄ，９ａ～９ｄには同一値の電流が供給される。
【００４７】
以下、フィードバック動作により各定電流源ＣＣ１～ＣＣ８の設定電流値の補正動作について図６及び図７を参照しながら具体的に説明する。
【００４８】
１．永久磁石８の温度特性補正
永久磁石８の温度特性による補正動作について図６を用いて説明する。図６では、永久磁石８の当初の磁束密度がＢであったが、温度上昇により永久磁石８の磁束密度がＢ’に変動した場合を例としている。
【００４９】
一般的なホール素子の出力電圧（ホール電圧）Ｖｈは下記で表されている。
Ｖｈ＝Ｋ・Ｉｈ・Ｂ
（Ｖｈ：ホール電圧、Ｋ：感度係数、Ｉｈ：動作電流、Ｂ：磁束密度）
【００５０】
図６（ａ）に示すように、当初の動作点であった磁束密度Ｂにおける全てのホール素子のホール電圧の電圧値の総和の電圧値は、
Ｖｏ＝Ｋ・Ｉ１・Ｂ・・・（１）
となる。
【００５１】
また温度上昇により磁石の動作点がＢ’に移動した場合の総和の電圧値は、
Ｖｏ’＝Ｋ・Ｉ１・Ｂ’・・・（２）
となる。つまり、図５に示す回路構成では、差動増幅器ＤＩＦ－ＡＭＰの出力電圧ＶｓがＶｏ及びＶｏ’となる。
【００５２】
総磁束検出結果であるＶｓがＶｏの場合は、基準電圧値ＲＥＦ－Ｖと等しいため、差動増幅器ＥＲＲ－ＡＭＰは補正電圧を発生しない。しかし、熱減磁により総磁束が低下したときの総磁束検出結果であるＶｓがＶｏ’の場合、差動増幅器ＥＲＲ－ＡＭＰは、電圧値Ｖｏ’と基準電圧値ＲＥＦ－Ｖとの差分をＶｏ’に加算して得られる誤差制御電圧Ｖｏ”を発生させるためのＩ・ＦＢ信号を出力する。この誤差制御電圧Ｖｏ”は、誤差電圧に反比例して発生する。そのため、差動増幅器ＥＲＲ－ＡＭＰは、ホール素子の電流を増加させる方向に調整するＩ・ＦＢ信号を出力する。
【００５３】
【数１】

$$I2 = \frac{Vo''}{K \cdot B'} \quad \cdots (3)$$

【００５４】
図６（ｂ）に、磁束密度Ｂの低下を受けてＩ・ＦＢ信号が定電流源ＣＣ１～ＣＣ８に出力されて、定電流源ＣＣ１～ＣＣ８の電流値がＩ２に増加する過程が示されている。
【００５５】
このとき、図５に示した回路構成では、差動増幅器ＥＲＲ－ＡＭＰの動作により、総和の電圧値Ｖｓと基準電圧値ＲＥＦ－Ｖとの誤差電圧が減少するように定電流源ＣＣ１～ＣＣ８の電流が制御されるため、誤差制御電圧Ｖｏ”は基準電圧値ＲＥＦ－Ｖと等しくなる

。
Ｖｏ”　ＲＥＦ－Ｖ　Ｖｏ・・・（４）
このためＩ２としては、
【００５６】
【数２】

$$I2 = \frac{Vo}{K \cdot B'} \quad \cdots (5)$$

となる。
【００５７】
そして、永久磁石８の動作点がＢ’点に変化したときのホール電圧Ｖｈ２としては、
Ｖｈ２＝Ｋ・Ｉ２・Ｂ’・・・（６）
であり、式（５）を代入することで、
【００５８】
【数３】

$$Vh2 = K \cdot \frac{Vo}{K \cdot B'} \cdot B' \fallingdotseq Vo \quad \cdots (7)$$

となる。
【００５９】
つまり、磁束密度がＢからＢ’に低下した場合には、検出される総和の電圧値Ｖｓは、基準電圧値ＲＥＦ－Ｖと等しい値である電圧値Ｖｏから電圧値Ｖｏ’に低下する。したがって、差動増幅器ＥＲＲ－ＡＭＰは、総和の電圧値Ｖｓが、基準電圧値ＲＥＦ－Ｖとなるように定電流源ＣＣ１～ＣＣ８の電流値をＩ１からＩ２に上昇させるＩ・ＦＢ信号を出力する。これにより、総和の電圧値Ｖｓは、Ｖｏ’からＶｏ’’（　ＲＥＦ－Ｖ　Ｖｏ）に上昇し、基準電圧値ＲＥＦ－Ｖに一定となるように制御される。
【００６０】
よって、差動増幅器ＥＲＲ－ＡＭＰのフィードバック動作により、総和の電圧値Ｖｓが基準電圧値ＲＥＦ－Ｖとなるように、各定電流源ＣＣ１～ＣＣ８の設定電流値が調整される。そして、この総和の電圧値Ｖｓが基準電圧値ＲＥＦ－Ｖとなるように、差動増幅器ＥＲＲ－ＡＭＰにより各ホール素子６ａ～６ｄ，９ａ～９ｄに電流を供給する定電流源ＣＣ１～ＣＣ８の設定電流値が調整されるので、総和の電圧値Ｖｓが一定に保たれる。
【００６１】
２．感度係数の補正
一般にホール素子は、感度係数（ホール係数）Ｋにも温度依存性を持っており、環境温度や素子発熱により同じ磁束密度Ｂであっても出力電圧（ホール電圧）が変動する。ホール素子以外の磁電変換素子も一般には感度係数Ｋに温度依存性を持っているが、説明が重複するため以下ではホール素子を代表して説明する。
【００６２】
ホール素子６ａ～６ｄ，９ａ～９ｄの感度係数Ｋの温度変動による補正動作について図６を用いて説明する。図７では、当初の感度係数がＫ１であったが、温度上昇により感度係数がＫ２に変動した場合を例としている。
【００６３】
図７（ａ）での当初の動作点であった磁束密度Ｂ点でのホール素子のホール電圧の電圧値の総和の電圧値としては、
Ｖｏ１＝Ｋ１・Ｉ１・Ｂ・・・（８）

となる。

【００６４】

また温度上昇によりホール素子の感度係数がＫ２に変動した場合のホール電圧の電圧値の総和の電圧値は、

Ｖｏ２＝Ｋ２・Ｉ１・Ｂ・・・（９）

となる。つまり、図５に示す回路構成では、差動増幅器ＤＩＦ－ＡＭＰの出力電圧ＶｓがＶｏ１及びＶｏ２となる。

【００６５】

総磁束検出結果であるＶｓがＶｏ１の場合は、基準電圧値ＲＥＦ－Ｖと等しいため、差動増幅器ＥＲＲ－ＡＭＰは補正電圧を発生しない。しかし、ホール素子の感度係数がＫ２になり、検出されるホール電圧が低下したときの総磁束検出結果であるＶｓがＶｏ２のときは、差動増幅器ＥＲＲ－ＡＭＰは、以下のように動作する。即ち、差動増幅器ＥＲＲ－ＡＭＰは、電圧値Ｖｏ２と基準電圧値ＲＥＦ－Ｖとの差分をＶｏ２に加算して得られる誤差制御電圧Ｖｏ３を発生させるためのＩ／ＦＢ信号を出力する。この誤差制御電圧Ｖｏ３は、誤差電圧に反比例して発生する。そのため、差動増幅器ＥＲＲ－ＡＭＰは、ホール素子の電流を増加させる方向に調整するＩ・ＦＢ信号を出力する。

【００６６】

【数４】

$$Ｉ３＝\frac{Vo3}{Ｋ２・Ｂ}\quad・・・（１０）$$

【００６７】

図７（ｂ）に、ホール素子の感度係数がＫ２になり、検出されるホール電圧の低下を受けて、Ｉ・ＦＢ信号が定電流源ＣＣ１～ＣＣ８に出力されて、定電流源ＣＣ１～ＣＣ８の電流値がＩ３に増加する過程が示されている。

【００６８】

このとき、図５に示した回路構成では、差動増幅器ＥＲＲ－ＡＭＰの動作により、総和の電圧値Ｖｓと基準電圧値ＲＥＦ－Ｖとの誤差電圧が減少するように定電流源ＣＣ１～ＣＣ８の電流が制御されるため、誤差制御電圧Ｖｏ３は基準電圧値ＲＥＦ－Ｖと等しくなる。

Ｖｏ３　ＲＥＦ－Ｖ　Ｖｏ・・・（１１）

このためＩ３としては、

【００６９】

【数５】

$$Ｉ３＝\frac{Vo}{Ｋ２・Ｂ}\quad・・・（１２）$$

となる。

【００７０】

そして、ホール素子の感度係数がＫ２点に変化したときのホール電圧Ｖｈ３としては、

Ｖｈ３＝Ｋ２・Ｉ３・Ｂ・・・（１３）

であり、式（１２）を代入することで、

【００７１】

【数６】

$$Vh3 = K2 \cdot \frac{Vo}{K2 \cdot B} \cdot B \fallingdotseq Vo \cdots (14)$$

となる。

【００７２】

つまり、ホール素子の感度係数がＫ１からＫ２に低下した場合には、検出される総和の電圧値Ｖｓは、基準電圧値ＲＥＦ－Ｖと等しい値である電圧値Ｖｏ１から電圧値Ｖｏ２に低下する。したがって、差動増幅器ＥＲＲ－ＡＭＰは、総和の電圧値Ｖｓが、基準電圧値ＲＥＦ－Ｖとなるように定電流源ＣＣ１～ＣＣ８の電流値をＩ１からＩ３に上昇させるＩ・ＦＢ信号を出力する。これにより、総和の電圧値Ｖｓは、Ｖｏ２からＶｏ３（　ＲＥＦ－Ｖ　Ｖｏ）に上昇し、基準電圧値ＲＥＦ－Ｖに一定となるように制御される。

【００７３】

よって、差動増幅器ＥＲＲ－ＡＭＰのフィードバック動作により、総和の電圧値Ｖｓが基準電圧値ＲＥＦ－Ｖとなるように、各定電流源ＣＣ１～ＣＣ８の設定電流値が調整される。そして、この総和の電圧値Ｖｓが基準電圧値ＲＥＦ－Ｖとなるように、差動増幅器ＥＲＲ－ＡＭＰにより各ホール素子６ａ～６ｄ，９ａ～９ｄに電流を供給する定電流源ＣＣ１～ＣＣ８の設定電流値が調整されるので、総和の電圧値Ｖｓが一定に保たれる。

【００７４】

以上の動作により、永久磁石８の磁束及び各ホール素子６ａ～６ｄ，９ａ～９ｄの検出感度が温度変化や経年変化等により変動しても、各ホール素子６ａ～６ｄ，９ａ～９ｄの出力電圧は温度変化や経年変化等に依存しない安定したものとなる。このように、温度変化や経年変化等により永久磁石８及びホール素子６ａ～６ｄ，９ａ～９ｄの両方の特性が変動したとしても、温度センサを用いない簡易な構成で、ホール素子６ａ～６ｄ，９ａ～９ｄの出力電圧を補正することができる。よって、力及びモーメントの検出精度が向上させたロボット装置が実現できる。

【００７５】

［第２実施形態］

次に、本発明の第２実施形態に係る力覚センサについて説明する。図８は、本発明の第２実施形態に係る力覚センサのセンサ本体を示す断面模式図である。なお、本第２実施形態において、上記第１実施形態と同様の構成については、同一符号を付して説明を省略する。

【００７６】

上記第１実施形態の力覚センサ５００では、作用部１と共にホール素子６ａ～６ｄ，９ａ～９ｄが永久磁石８に対して変位する場合について説明した。図８に示す本第２実施形態の力覚センサ５００Ａでは、作用部１と共に永久磁石８がホール素子６ａ～６ｄ，９ａ～９ｄに対して変位する。

【００７７】

具体的には、ホール素子６ａ～６ｄが固定された第１のセンサ基板１０が基板連結部材５を介して外枠３に固定され、ホール素子９ａ～９ｄが固定された第２のセンサ基板１１が外枠３に固定されている。そして、永久磁石８が支柱４Ａを介して作用部１に固定されている。これにより、永久磁石８は、作用部１に一体に固定されているので、作用部１の変位により、ホール素子６ａ～６ｄ，９ａ～９ｄに対して変位する。

【００７８】

このように構成することで、第１のホール素子６ａ～６ｄは、作用部１の変位により一方の磁極面８ａに対して相対的に変位し、第２のホール素子９ａ～９ｄは、作用部１の変位により他方の磁極面８ｂに対して相対的に変位する。

【００７９】

以上本第２実施形態では、永久磁石８の磁束及び各ホール素子６ａ～６ｄ，９ａ～９ｄの検出感度が温度変化や経年変化等により変動しても、各ホール素子６ａ～６ｄ，９ａ～９ｄの出力電圧は温度変化や経年変化等に依存しない安定したものとなる。このように、温度変化や経年変化等により永久磁石８及びホール素子６ａ～６ｄ，９ａ～９ｄの両方の特性が変動したとしても、温度センサを用いない簡易な構成で、ホール素子６ａ～６ｄ，９ａ～９ｄの出力電圧を補正することができる。よって、力及びモーメントの検出精度が向上する。

【００８０】

また、センサ基板１０，１１を外枠３に固定するようにしたので、組み立てが容易となる。つまり外枠３に固定された第１の磁電変換素子と、互いの相対位置を保って外枠３に固定された第２の磁電変換素子が配置されていれば良い。また、外枠３に段付き加工をすることで、基板保持用の基板連結部材５が不要とする構成も実現できる。

【００８１】

［第３実施形態］

次に、本発明の第３実施形態に係る力覚センサについて説明する。図９は、本発明の第３実施形態に係る力覚センサを組み込んだロボット装置の概略構成を示す模式図である。なお、本第３実施形態において、上記第１実施形態と同様の構成については、同一符号を付して説明を省略する。

【００８２】

図９に示すロボット装置９００Ｂは、多関節（本第３実施形態では、６つの関節Ｊ１～Ｊ６）のロボットアーム６００と、ロボットアーム６００の先端に設けられたエンドエフェクタとしてのロボットハンド８００と、を備えている。また、ロボット装置９００Ｂは、力覚センサ５００Ｂと、ロボットアーム６００及びロボットハンド８００の動作を制御するロボットコントローラ７００と、を備えている。力覚センサ５００Ｂは、センサ本体１００Ｂと、センサ本体１００Ｂに接続される検出装置４００Ｂとを有している。センサ本体１００Ｂは、ロボットアーム６００の先端とロボットハンド８００との間に介在して配置されている。つまり、ロボットアーム６００の先端には、センサ本体１００Ｂが直接設けられている。そして、ロボットアーム６００の先端には、ロボットハンド８００がこのセンサ本体１００Ｂを介して設けられている。

【００８３】

上記第１実施形態では、第１のホール素子の個数と、第２のホール素子の個数とを同一とした場合について説明した。本第３実施形態では、図１０に示すように、センサ本体１００Ｂは、ｎ個（本第３実施形態ではｎ＝４、即ち４個）の第１のホール素子６ａ～６ｄと、１個の第２のホール素子１２とを備えている。

【００８４】

また、上記第１実施形態のセンサ本体１００では、作用部１と共にホール素子６ａ～６ｄ，９ａ～９ｄが永久磁石８に対して変位する場合について説明した。図９及び図１０に示す本第３実施形態の力覚センサ５００Ｂのセンサ本体１００Ｂでは、作用部１と共に永久磁石８がホール素子６ａ～６ｄ，１２に対して変位する。

【００８５】

具体的には、第１のホール素子６ａ～６ｄが固定された第１のセンサ基板１０は、第１のホール素子６ａ～６ｄが永久磁石８の一方の磁極面８ａに対向するように、基板連結部材５を介して外枠３に固定されている。第２のホール素子１２が固定された第２のセンサ基板１３は、第２のホール素子１２が永久磁石８の他方の磁極面８ｂに対向するように、外枠３に固定されている。そして、永久磁石８が支柱４Ａを介して作用部１に固定されている。これにより、永久磁石８は、作用部１に一体に固定されているので、作用部１の変位により、ホール素子６ａ～６ｄ，１２に対して変位する。

【００８６】

このように構成することで、第１のホール素子６ａ～６ｄは、作用部１の変位により一方の磁極面８ａに対して相対的に変位し、第２のホール素子１２は、作用部１の変位によ

り他方の磁極面８ｂに対して相対的に変位する。

【００８７】

図９に示すように、センサ本体１００Ｂの作用部１及び外枠３のうち一方、本第３実施形態では外枠３は、ロボットアーム６００の先端に固定され、他方、本第３実施形態では作用部１は、ロボットハンド８００に固定される。なお、外枠３がロボットハンド８００に固定され、作用部１がロボットアーム６００の先端に固定されてもよい。図９に示す検出装置４００Ｂは、センサ本体１００Ｂの各ホール素子６ａ～６ｄ，１２からのホール電圧を検出して出力する回路部２００Ｂと、作用部１に作用する力及びモーメントを求める処理部３００Ｂとを備えている。処理部３００Ｂは、その各力成分出力をロボットコントローラ７００に伝達する。ロボットコントローラ７００は、各力成分に基づいてロボットアーム６００の姿勢を制御する。

【００８８】

図１１は、本第３実施形態に係る力覚センサ５００Ｂの回路部２００Ｂを示す電気回路図である。回路部２００Ｂは、４個の第１のホール素子６ａ～６ｄのそれぞれに接続され、各第１のホール素子６ａ～６ｄに設定電流値の電流を供給する、ホール素子６ａ～６ｄの個数に対応する個数（４個）の第１の定電流源ＣＣ１～ＣＣ４を備えている。また、回路部２００Ｂは、第２のホール素子１２に接続され、第２のホール素子１２に設定電流値の電流を供給する第２の定電流源ＣＣ５を備えている。

【００８９】

さらに、回路部２００Ｂは、４個の第１のホール素子６ａ～６ｄのそれぞれに接続され、各第１のホール素子６ａ～６ｄのホール電圧の電圧値を検出する、ホール素子６ａ～６ｄの個数に対応する個数（４個）の第１の電圧検出部ＡＭＰ１～ＡＭＰ４を備えている。また、回路部２００Ｂは、第２のホール素子１２に接続され、第２のホール素子１２のホール電圧の電圧値を検出する第２の電圧検出部ＡＭＰ５を備えている。

【００９０】

さらにまた、回路部２００Ｂは、総和演算部として、加算器ＡＤＤ１、増幅器ＲＥＦ－ＡＭＰ及び差動増幅器ＤＩＦ－ＡＭＰと、調整部として差動増幅器ＥＲＲ－ＡＭＰとを備えている。

【００９１】

加算器ＡＤＤ１は、各第１の電圧検出部ＡＭＰ１～ＡＭＰ４から出力された電圧信号を加算する。増幅器ＲＥＦ－ＡＭＰは、第２の電圧検出部ＡＭＰ５により検出されたホール電圧の電圧値のｎ倍（４倍）の電圧値を示す電圧信号を出力する。これにより、第２の電圧検出部ＡＭＰ５による出力レベルが、加算器ＡＤＤ１の出力レベルにほぼ合わせられる。

【００９２】

差動増幅器ＤＩＦ－ＡＭＰは、加算器ＡＤＤ１の出力結果から増幅器ＲＥＦ－ＡＭＰの出力結果を引いている。これにより、差動増幅器ＤＩＦ－ＡＭＰは、各第１の電圧検出部ＡＭＰ１～４により検出されたホール電圧の電圧値の絶対値と、第２の電圧検出部ＡＭＰ５により検出されたホール電圧の電圧値の４倍の電圧値の絶対値との総和の電圧値Ｖｓを求めている。

【００９３】

差動増幅器ＥＲＲ－ＡＭＰは、上記第１実施形態と同様に、総和の電圧値Ｖｓと基準電圧値ＲＥＦ－Ｖとを比較し、総和の電圧値Ｖｓが基準電圧値ＲＥＦ－Ｖとなるように、各定電流源ＣＣ１～ＣＣ５の電流値を調整する。

【００９４】

以上、本第３実施形態では、永久磁石８の磁束及び各ホール素子６ａ～６ｄ，１２の検出感度が温度変化や経年変化等により変動しても、各ホール素子６ａ～６ｄ，１２の出力電圧は温度変化や経年変化等に依存しない安定したものとなる。このように、温度変化や経年変化等により永久磁石８及びホール素子６ａ～６ｄ，１２の両方の特性が変動したとしても、温度センサを用いない簡易な構成で、ホール素子６ａ～６ｄ，１２の出力電圧を

補正することができる。よって、力及びモーメントの検出精度が向上する。また、第２のホール素子１２を１個としたことで、第２の定電流源ＣＣ５、第２の電圧検出部ＡＭＰ５も１個でよい。従って、上記第１実施形態の力覚センサよりもコストを削減することができる。更に、センサ基板１０，１３を外枠３に固定するようにしたので、組み立てが容易となる。また、外枠３に段付き加工をすることで、基板保持用の基板連結部材５が不要とする構成の力覚センサを組み込んだロボット装置が実現できる。

【００９５】

［第４実施形態］

次に、本発明の第４実施形態に係る力覚センサについて説明する。図１２は、本発明の第４実施形態に係る力覚センサのセンサ本体を示す断面模式図である。なお、本第４実施形態において、上記第１～第３実施形態と同様の構成については、同一符号を付して説明を省略する。

【００９６】

図１２に示す力覚センサのセンサ本体１００Ｃは、ｎ個（本第４実施形態ではｎ＝４、即ち４個）の第１のホール素子６ａ～６ｄと、１個の第２のホール素子１２とを備えている。第１のホール素子６ａ～６ｄが固定された第１のセンサ基板１０は、第１のホール素子６ａ～６ｄが永久磁石８の一方の磁極面８ａに対向するように、基板連結部材５を介して作用部１に固定されている。第２のホール素子１２が固定された第２のセンサ基板１３は、第２のホール素子１２が永久磁石８の他方の磁極面８ｂに対向するように、作用部１に固定されている。これにより、ホール素子６ａ～６ｄ，１２は、作用部１の変位により、外枠３に一体に固定された永久磁石８に対して変位する。以上の構成により、本第４実施形態では、上記第３実施形態と同様の効果を奏する。

【００９７】

［第５実施形態］

次に、本発明の第５実施形態に係る力覚センサを組み込んだロボットハンドについて説明する。図１３は、本発明の第５実施形態に係る力覚センサを組み込んだロボットハンドを有するロボット装置の概略構成を示す模式図である。なお、本第５実施形態において、上記第１～４実施形態と同様の構成については、同一符号を付して説明を省略する。

【００９８】

図１３に示すロボットハンド８００Ｄは、ハンド本体８０１と、ハンド本体８０１に開閉可能に支持される複数（本実施形態では２つ）のフィンガー８０２，８０３と、を備えている。フィンガー８０３は、ハンド本体８０１に支持される基端部８０３ａと、基端部８０３ａから延びる先端部８０３ｂとを有している。

【００９９】

ロボットハンド８００Ｄは、上記第１～第４実施形態のうちいずれの力覚センサを備えていてもよいが、本第５実施形態では、上記第３実施形態と同様の力覚センサを備えている。この力覚センサのセンサ本体１００Ｂは、基端部８０３ａと先端部８０３ｂとの間に介在して配置されている。そして、外枠３及び作用部１のうち、一方、本第５実施形態では外枠３が、基端部８０３ａに固定されている。また、外枠３及び作用部１のうち、他方、本第５実施形態では作用部１が、先端部８０３ｂに固定されている。

【０１００】

なお、外枠３が先端部８０３ｂに固定され、作用部１が基端部８０３ａに固定されていてもよい。また、フィンガー８０２にセンサ本体１００Ｂを設けてもよい。

【０１０１】

本第５実施形態では、上記第３実施形態と同様の効果を奏する。また、外枠３に段付き加工をすることで、基板保持用の基板連結部材５が不要とする構成が可能なロボットハンドを用いたロボット装置を実現できる。

【０１０２】

なお、上記第１～第５実施形態に基づいて本発明を説明したが、本発明はこれに限定するものではない。上記第１，第２実施形態では、力覚センサが第１のホール素子を４個、

第２のホール素子を４個備え、３軸の各軸方向の力成分及び３軸の各軸まわりのモーメント成分を求める場合について説明したが、これに限定するものではない。第１及び第２のホール素子の個数は、２個以上であればよい。そして、力及びモーメントの少なくとも一方を求めるようにすればよく、例えば力のみ又はモーメントのみを求めるようにしてロボット装置を制御してもよい。

【０１０３】

また、上記第３，第４実施形態では、力覚センサが第１のホール素子を４個備え、３軸の各軸方向の力成分及び３軸の各軸まわりのモーメント成分を求める場合について説明したが、これに限定するものではない。第１のホール素子の個数は、２個以上であればよい。そして、力及びモーメントの少なくとも一方を求めるようにすればよく、例えば力のみ又はモーメントのみを求めるようにしてロボット装置を制御してもよい。

【０１０４】

上記第５実施形態のロボットハンドでは、力覚センサのセンサ本体を２本のフィンガーのうちの片側にのみセンサ本体を装備しているが、複数本のフィンガーのそれぞれにセンサ本体を装備して、その合計力を基に、ロボット動作を制御しても良い。フィンガーの本数としても２本以上の複数本の構成でよく、力覚センサ実装位置にしてもフィンガーの先端部に組み込んでもよい。

【０１０５】

上記第１～第４実施形態では、力覚センサの実装位置についても、エンドエフェクタに限定されることはなく、各関節部に必要に応じて組み込んでも良い。

【０１０６】

上記第１～第５実施形態では、検出装置がアナログ回路で構成された回路部とコンピュータで構成された処理部とを備え、磁電変換素子の出力をアナログ回路でアナログ処理により演算したが、ＡＤ変換してコンピュータでデジタル処理により演算してもよい。

【０１０７】

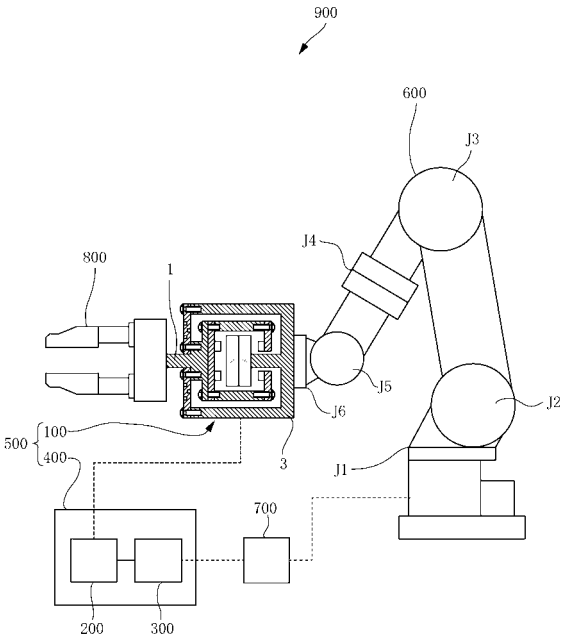
また、上記第１～第５実施形態では、磁電変換素子としてホール素子を用いた場合について説明したが、本発明はホール素子以外に、例えばＭＲ素子や、磁気インピーダンス素子、フラックスゲート素子等の他の磁電変換素子を用いた場合についても適用可能である。

【符号の説明】

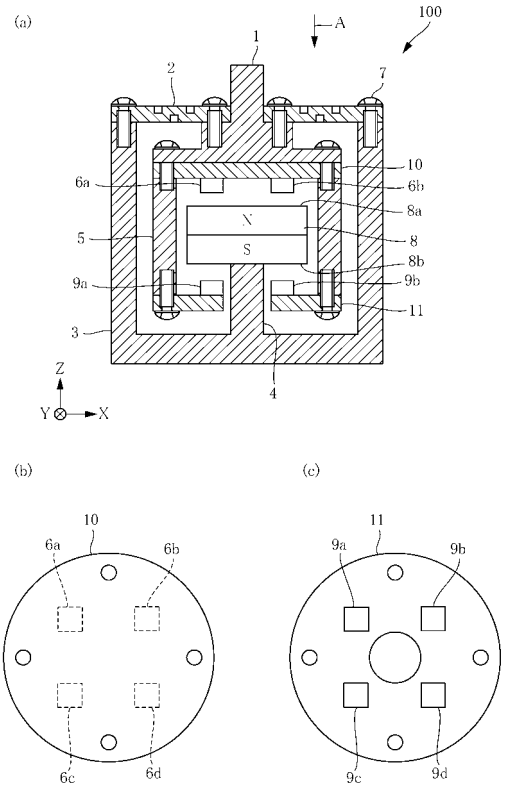
【０１０８】

１…作用部、２…弾性体、３…外枠（枠体）、６ａ～６ｄ…第１のホール素子（第１の磁電変換素子）、８…永久磁石（磁石）、８ａ…一方の磁極面、８ｂ…他方の磁極面、９ａ～９ｄ…第２のホール素子（第２の磁電変換素子）、１２…第２のホール素子（第２の磁電変換素子）、１００，１００Ａ，１００Ｂ，１００Ｃ…センサ本体、２００，２００Ｂ…回路部、３００…処理部、５００…力覚センサ、ＡＤＤ１，ＡＤＤ２…加算器（総和演算部）、ＡＭＰ１～ＡＭＰ４…第１の電圧検出部、ＡＭＰ５～ＡＭＰ８…第２の電圧検出部、ＣＣ１～ＣＣ８…定電流源、ＤＩＦ－ＡＭＰ…差動増幅器（総和演算部）、ＥＲＲ－ＡＭＰ…差動増幅器（調整部）、ＲＥＦ－ＡＭＰ…増幅器（総和演算部）

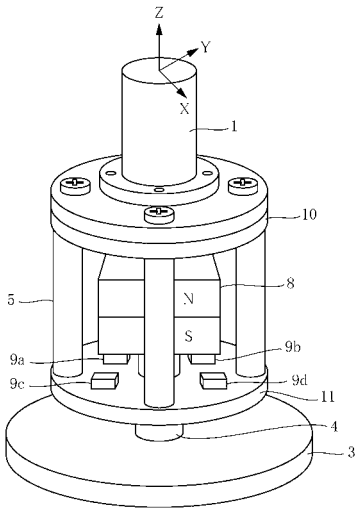
【図１】


900
600
J3
J4
800
1
J5
J6
J2
500
100
400
3
J1
700
200
300

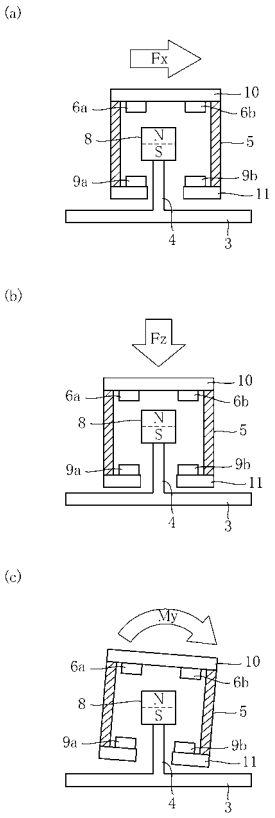
【図２】


(a)
A
100
1
2
7
10
6a
6b
8a
N
S
5
8
8b
9a
9b
11
3
4
Z
Y
X
(b)
(c)
10
6a
6b
6c
6d
11
9a
9b
9c
9d

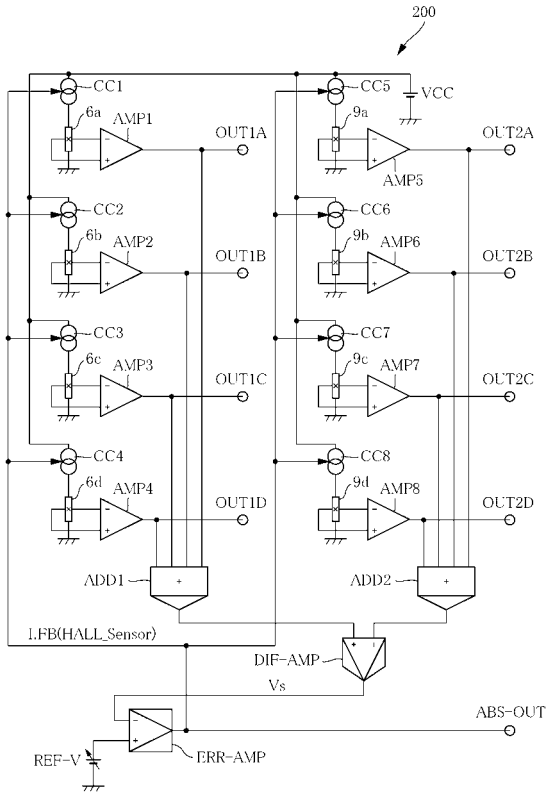
【図３】


Z
Y
X
1
10
5
N
S
8
9a
9b
9c
9d
11
4
3

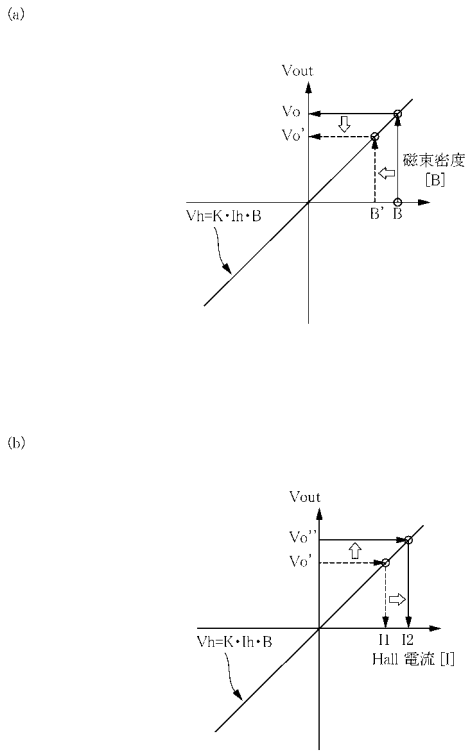
【図４】


(a)
Fx
10
6a
6b
8
N
S
5
9a
9b
11
4
3
(b)
Fz
10
6a
6b
8
N
S
5
9a
9b
11
4
3
(c)
My
10
6a
6b
8
N
S
5
9a
9b
11
4
3

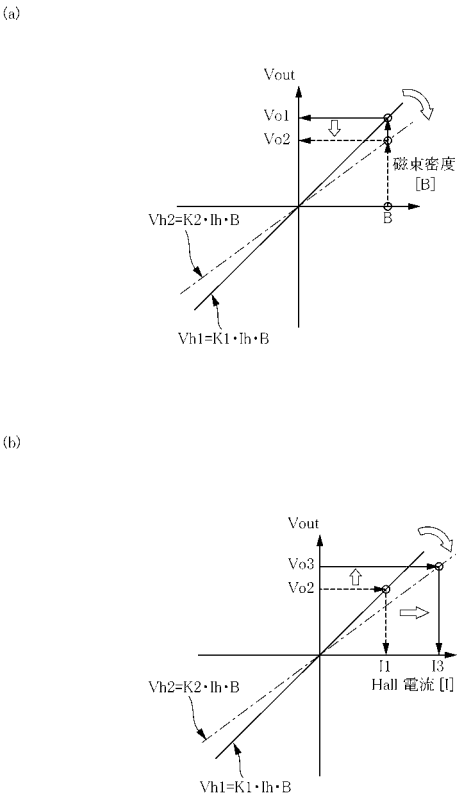
【図５】


200
CC1
CC2
CC3
CC4
CC5
CC6
CC7
CC8
VCC
6a
6b
6c
6d
9a
9b
9c
9d
AMP1
AMP2
AMP3
AMP4
AMP5
AMP6
AMP7
AMP8
OUT1A
OUT1B
OUT1C
OUT1D
OUT2A
OUT2B
OUT2C
OUT2D
ADD1
ADD2
I.FB(HALL_Sensor)
DIF-AMP
Vs
ABS-OUT
REF-V
ERR-AMP

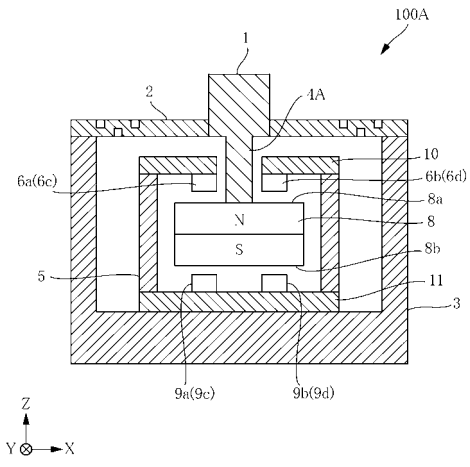
【図６】


(a)
Vout
Vo
Vo'
磁束密度
[B]
Vh=K・Ih・B
B'
B
(b)
Vout
Vo''
Vo'
Vh=K・Ih・B
I1
I2
Hall 電流 [I]

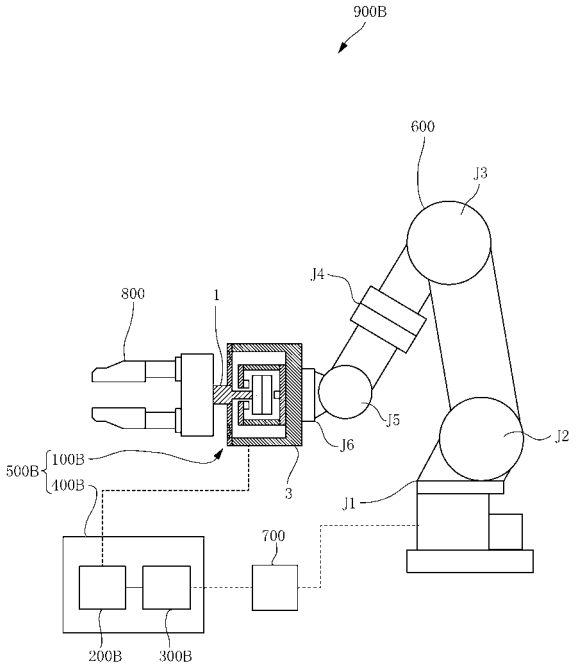
【図７】


(a)
Vout
Vo1
Vo2
磁束密度
[B]
Vh2=K2・Ih・B
B
Vh1=K1・Ih・B
(b)
Vout
Vo3
Vo2
I1
I3
Hall 電流 [I]
Vh2=K2・Ih・B
Vh1=K1・Ih・B

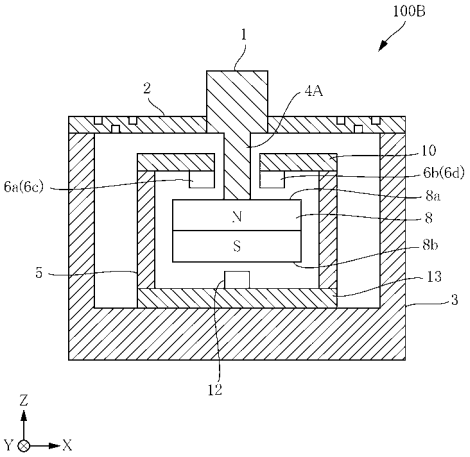
【図８】


100A
1
2
4A
10
6a(6c)
6b(6d)
8a
N
8
S
8b
5
11
3
9a(9c)
9b(9d)
Z
Y
X

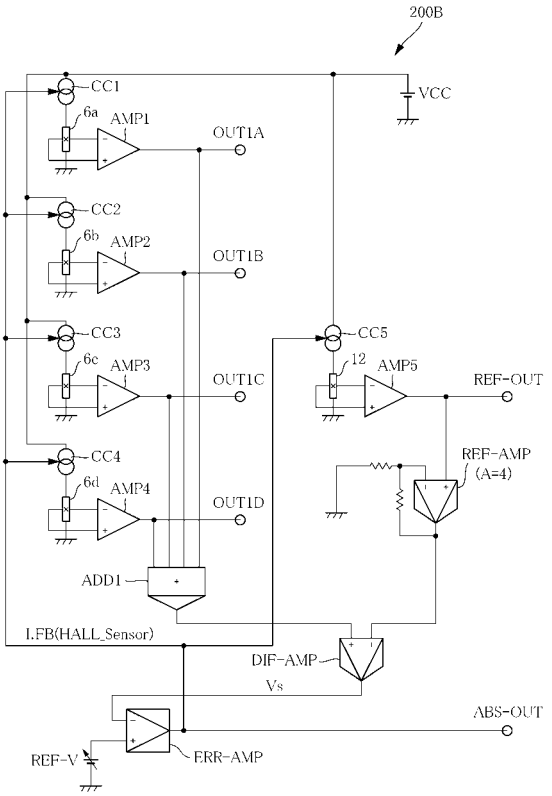
【図９】



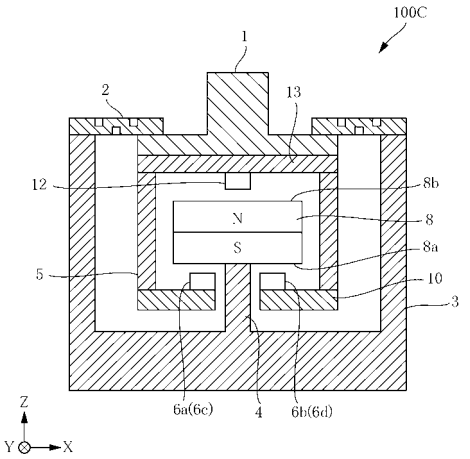
【図１０】



【図１１】



【図１２】



【図１３】

